

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

**Defective images within this document are accurate representations of
the original documents submitted by the applicant.**

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-067204

(43)Date of publication of application : 22.03.1991

(51)Int.Cl.

G02B 6/12
G02F 1/313

(21)Application number : 01-202876

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>

(22)Date of filing : 07.08.1989

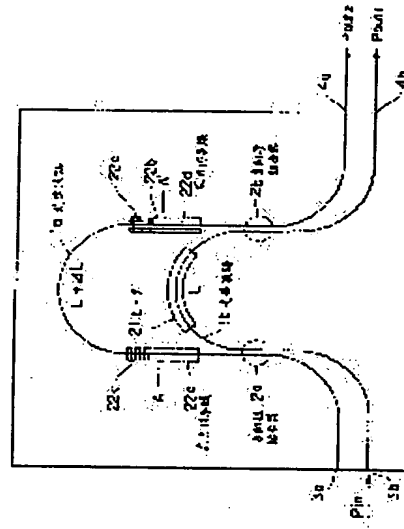
(72)Inventor : OKUNO MASAYUKI
SUGITA AKIO
TAKATO NORIO
KAWACHI MASAO

(54) INTEGRATED OPTICAL DEVICE AND PRODUCTION THEREOF

(57)Abstract:

PURPOSE: To exactly realize a desired optical circuit function by providing stress-imparting films contg. stripe parts consisting of plural fine lines having a prescribed angle with the light propagation direction of a core part.

CONSTITUTION: Two flat plate-shaped stress imparting films 22A, 22B are loaded on the optical waveguide 1a between directional couplers 2a and 2b and are partly trimmed to a stripe shape. The flat plate-shaped stress imparting films 22A, 2B on the optical waveguides 1a, 1b between the directional couplers 2a and 2b are a-Si. The one a-Si film 22a is partly trimmed to the stripe shape perpendicularly to the light propagation direction and the other a-Si film 22b is previously trimmed to the stripe shape 22d parallel with the light propagation direction over the entire surface; thereafter, a part 22e thereof is trimmed perpendicularly to the light propagation direction. The desired optical circuit function is exactly attained in this way.



⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平3-67204

⑬ Int. Cl.³

G 02 B 6/12

G 02 F 1/313

識別記号

H
M

庁内整理番号

7036-2H
7036-2H
7348-2H

⑭ 公開 平成3年(1991)3月22日

審査請求 未請求 請求項の数 5 (全16頁)

⑮ 発明の名称 集積光デバイスおよびその製造方法

⑯ 特 願 平1-202876

⑰ 出 願 平1(1989)8月7日

⑱ 発 明 者 奥 野 将 之 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内
⑲ 発 明 者 杉 田 彰 夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内
⑲ 発 明 者 高 戸 範 夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内
⑲ 発 明 者 河 内 正 夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内
⑳ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号
㉑ 代 理 人 弁理士 谷 義 一

明 細 書

非晶質シリコン膜であることを特徴とする請求項1に記載の集積光デバイス。

1. 発明の名称

集積光デバイスおよびその製造方法

2. 特許請求の範囲

1) 基板と

前記基板上に配置されたクラッド層および該クラッド層に埋設され、光伝搬作用を持つコア部を有する単一モード光導波路と、

前記クラッド層上の所定部分に配置され、前記コア部に作用する応力を非可逆的に変化させて前記単一モード光導波路の光路長と複屈折値を同時に調節し得る、コア部光伝搬方向に対し所定の角度を持った複数の細線からなる網状部を含む応力付与膜とを具えたことを特徴とする集積光デバイス。

2) 前記単一モード光導波路が、SiO₂を主成分とする石英系光導波路であり、前記応力付与膜が、

3) 前記応力付与膜の複数の細線のそれぞれの幅が前記クラッド層に埋設された前記コア部の深さよりも小さいことを特徴とする請求項1または2に記載の集積光デバイス。

4) 基板上に配置されたクラッド層および該クラッド層に埋設され、光伝搬作用をもつコア部を有する単一モード光導波路を作成する工程と、前記クラッド層上の所定部分に応力付与膜を配置する工程と、前記応力付与膜の所定部分に対し、エネルギービームの照射によるトリミングを繰り返して前記応力付与膜に複数の細線を形成して網状に加工する工程とを有することを特徴とする集積光デバイスの製造方法。

5) 前記応力付与膜に、前記コア部の光伝搬方向に対して所定の角度で交わる複数の細線を形成す

ることを特徴とする請求項4に記載の集積光デバイスの製造方法。

(以下 余 白)

用的な集積光デバイスの実現手段として期待されている。

第12図および第13図は、このような石英系単一モード光導波路を用いた従来の集積光デバイスの一例としての導波形マッハ・ツェンダ光干渉計の構成を説明するための、それぞれ、平面図およびそのAA'線に沿った断面を拡大して示す断面図である。

第12図および第13図において、1はシリコン基板である。1aおよび1bはシリコン基板上に石英系ガラス材料により形成された石英系単一モード光導波路である。光導波路1a,1bは2箇所互いに近接して方向性結合器2aおよび2bを構成し、その結合率は、いずれもほぼ50%になるよう設定されている。光導波路1a,1bは、膜厚50 μm 程度のSiO₂系ガラスクラッド層5に埋設された断面寸法7 μm ×7 μm 程度のSiO₂-TiO₂系またはSiO₂-GeO₂系ガラスコア部からなり、方向性結合器2a,2b部分は、2本の光導波路1a,1bを間隔数 μm 程度に保ち、d=0.5mm程度の距離にわたって

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は、基板上に光導波路を配設した集積光デバイスに関するものである。さらに詳細には、光導波路におよぶ応力を調整することにより、所望の光回路機能を正確に実現する集積光デバイスおよびその製造方法に関するものである。

[従来の技術]

平面基板上に形成された単一モード光導波路、特にシリコン基板上に形成された石英系単一モード光導波路は、例えばN.Takato et al.: "Silica-Based Single-Mode Waveguides on Silicon and Their Application to Guided-Wave optical Interferometers", J. Lightwave Tech., vol. 8, pp. 1003-1010, 1988に記載されている。このような石英系単一モード光導波路は、そのコア部の断面の寸法を通常使用されている石英系単一モード光ファイバにあわせて5-10 μm 程度に設定することができるので、光ファイバとの整合性に優れた実

平行に配置することにより構成されている。2個の方向性結合器2a,2bを連結する部分の導波路長は、それぞれL+ ΔL およびLであり、長さが ΔL だけ異なっている。

この光デバイスにおいて、入力ポート3bから入射した信号光の光周波数を変化させていくと、

$$\Delta f = c / (2n \cdot \Delta L) \quad (1)$$

(nは光導波路の屈折率、cは光速)

を周期として出力ポート4aおよび4bから交互に信号光を取り出せることが知られている。

第14図は、この周期性を示した図であり、入力ポート3bから1.55 μm 帯のTE偏光(またはTM偏光)の信号光を入射した場合の出力ポート4aおよび4bから出力する光の光周波数特性を示している。ここで、実線は出力ポート4aからの出力光Pout2、破線は出力ポート4bからの出力光Pout1を示している。光周波数間隔 $\Delta f=106\text{Hz}$ だけ離れた2本の信号光f₁, f₂を入射ポート3bから同時に入射した場合、 $\Delta L=10\text{mm}$ のとき出力ポート4aおよび4bから2本の信号光を分離して取り出すことが

できる。すなわち合分波器動作を得ることができ、実際には、動作波長を正確に合わせるために、光路長さ($n \cdot \Delta L$)を高精度に設定する必要があるが、その精度は波長の1/10以下である。これは、光導波路作製用フォトマスクの精度の限界や、光導波路ガラスの屈折率のわずかなゆらぎ等により、導波路を作製した段階では達成が困難である。そのため、ヒータ21の熱光学効果により調節する方法が従来より用いられてきたが、常時通電しておかなければならないという問題があったため、網状の応力付与膜を光伝搬方向と平行にコア上部のクラッド上に装荷し、その応力付与膜をトリミングすることによって光路長を微調節する方法が、特願昭63-283793号に提案されている。

一方、前述したマッハ・ツェンダ光干渉計は、石英系ガラスとシリコン基板との熱膨張係数の違いによりガラス導波路部分は強い圧縮応力を受けており、これによって光導波路は応力複屈折性を示している。その応力複屈折値は $80 \sim 5 \times 10^{-4}$ 程度である($80 \sim 0_{TM} - 0_{TE}$ 、ここで 0_{TE} :TE偏光の実効屈

折率、 0_{TM} :TM偏光の実効屈折率)。第15図は、第12図の光干渉計回路において、偏光方向の異なる光が入射ポート3bから入射した場合の光周波数特性を示している。ここで実線はTMモード光が入射した場合、破線はTEモード光が入射した場合である。この図から、光導波路の応力複屈折性のために、入射光の偏光方向の違いによって光周波数特性に位相差が生じることがわかる。そのため、設定した偏光方向と異なる偏光が入射した場合、前述した合分波動作が全く行われないう問題があった。この偏波依存性を解消するために、ストリップ状の応力付与膜をコア上部のクラッド上に装荷し、その応力付与膜をトリミングすることにより複屈折値を調節する方法が、特願昭63-118938号に提案されている。

特願昭63-283793号および特願昭63-118938号の2つの方法は、ほぼ同じ技術を用いており、具体的にはスパッタ法等により応力付与膜、例えば非晶質シリコン(a-Si)膜、をコア上部のクラッド上に装荷することによりSi基板から受ける圧縮応

力以外の新たな応力をコア部へ加え、その量をArレーザやYAGレーザ等によるトリミングで調整することにより、複屈折値もしくは光路長を変えるというものである。この両方法ともに、簡便で、且つ、オンラインモニタを用いて高精度に調節ができるため、集積光デバイスの作製方法として極めて有効な手段である。

【発明が解決しようとする課題】

しかし、前記両方法は同じ技術を用いているにもかかわらず、応力付与膜の形状が、応力複屈折値調整用は平板状、光路長調整用は光伝搬方向に平行な網状と異なるため、どちらか一方の調整しか行えず、設計時に、どちらのトリミングをどの部分にどの程度行う必要があるかをあらかじめ予測し、それに対応した応力付与膜を配置しなければならないという問題があった。さらに、光路長調整用応力付与膜の網の形状は、例えば厚さ $1 \sim 8 \mu m$ に対し周期 $10 \mu m$ 程度、トリミング未処理部分の線幅 $5 \sim 7 \mu m$ 程度と、微細かつ高アスペクト

比であるため、極めて高度な加工技術が必要であり、作製プロセスが難しいという問題もあった。

本発明の目的は上記の問題点を解決した集積光デバイスおよびその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

本発明集積デバイスは、基板と、基板上に配置されたクラッド層およびクラッド層に埋設され、光伝搬作用を持つコア部を有する単一モード光導波路と、クラッド層上の所定部分に配置され、コア部に作用する応力を非可逆的に変化させて単一モード光導波路の光路長と複屈折値を同時に調節し得る、コア部光伝搬方向に対し所定の角度を持った複数の細線からなる網状部を含む応力付与膜とを具備したことを特徴とする。

本発明方法は、基板上に配置されたクラッド層およびクラッド層に埋設され、光伝搬作用をもつコア部を有する単一モード光導波路を作成する工程と、クラッド層上の所定部分に応力付与膜を配

量する工程と、応力付与膜の所定部分に対し、エネルギービームの照射によるトリミングを繰り返して応力付与膜に複数の細線を形成して縞状に加工する工程とを有することを特徴とする。

【作用】

本発明によれば、応力付与膜の一部を光伝搬方向に対し適切な方向に、且つ、縞状にトリミングし、例えばレーザービーム照射により照射部分の応力付与膜に相変または蒸発を引き起こすことによって、集積光デバイスの複屈折値および光路長を同時に、且つ、精密に調節できる。また、縞の方向によって、複屈折値および光路長の変化量を自由に選択できることから、設計段階からトリミングの目的およびその量を決めておく必要がなく、また微細な縞状の膜が不要なため加工精度が大幅に緩和できる。

【実施例】

以下、実施例に基づいて、本発明を詳細に説明

のであり、第12図の従来例と同一の組成・構造を有している。具体的には、ガラス組成は SiO_2 - TiO_2 系または SiO_2 - GeO_2 系、コア寸法は $7\mu m \times 7\mu m$ 程度、 SiO_2 クラッドの厚さは $50\mu m$ 程度である。ヒーター21は必須ではない。

方向性結合器2a, 2b間における導波路1aと1bの長さの差は $\Delta L=10nm$ である。導波路1a, 1b上の平板状応力付与膜22a, 22bは、a-Siであり、マグネトロン・スパッタ法と反応性イオンエッチング法によって作製されている。その寸法は、例えば、厚さ $7\mu m$ 、幅 $200\mu m$ 、長さ $5mm$ である。a-Si膜の一部は縞状にトリミングされており、第1図では、一方のa-Si膜22aが光伝搬方向と垂直にその一部が縞状(22c)にトリミングされ、他方のa-Si膜22bはあらかじめ全面にわたり光伝搬方向と平行な縞状(22d)にトリミングされた後、その一部22aが光伝搬方向と垂直にトリミングされている。第3図では、一方のa-Si膜22aの一部22fが光伝搬方向に対し所定の角度にトリミングされている。トリミングの縞の形状は、例えば、ピッ

する。

実施例1

第1図および第2図は、それぞれ、本発明の集積光デバイスの第1実施例としての、2波長用光合分波器あるいは光周波数選択スイッチとして動作するマッハ・ツェンダ光干渉計回路の回路構成およびその作製方法を示した平面図およびそのAA'線に沿った断面を拡大して示す断面図であり、第3図および第4図はそれぞれマッハ・ツェンダ光干渉回路の他の構成を示した平面図およびそのBB'線に沿った拡大断面図である。第12図の従来例と異なる点は、方向性結合器2a, 2bの間の導波路1a上に平板状の応力付与膜22a, 22bが2個装荷され、その膜の一部が縞状にトリミングされている点である。ここで、第1図および第3図において、トリミング処理部分は縞状の線として示されている。

第1図～第4図における石英系単一モード光導波路1a, 1bは、シリコン基板上に、火炎堆積法と反応性イオンエッチング法によって形成されたも

ち $10\mu m$ 、トリミング幅 $5\mu m$ 、トリミング未処理部分の幅 $5\mu m$ である。このトリミングには、例えばレーザー・ビームが用いられ、レーザー・ビームが照射された部分のa-Siはレーザーにより加熱され結晶化または蒸発し、その部分の応力がほとんどなくなる。このレーザー・ビームはレンズで集光することにより、数 μm 程度に絞り込むことが可能である。

第5図および第6図は縞状にトリミングした効果調べるための実験方法を示した平面図である。本実験に用いる集積光デバイスは、光路長さの無い(第1図、第3図および第12図において $\Delta L=0$)マッハ・ツェンダ光干渉計回路であり、2個の方向性結合器6a, 6b間の2本の導波路上に形状の等しい平板状応力付与用a-Si膜24a, 24bが装荷されている。導波路6a上のa-Si膜24aは、第5図では、その一部24cが光伝搬方向と垂直に、且つ、縞状にトリミングされている。一方、第6図では、導波路6aおよび6b上のa-Si膜24a, 24bがあらかじめ光伝搬方向と平行な縞状(24d)にトリミ

ングされた後、導波路8a上のa-Si膜24aのみその一部24cが光伝搬方向と垂直にトリミングされている。導波路断面構造、a-Si膜の形状、そしてトリミング線の形状は第1図～第4図の場合と同じであり、第5図および第6図において、トリミング処理部分は綫状の線として示されている。

第5図および第6図は、光伝搬方向とトリミング綫との角度が0°と90°という本発明の両極端な例を示しており、本発明においてこの角度が0-90°の中間値を取る場合があることは言うまでもない。

まず、幅の広いa-Si膜と、その膜を綫状にトリミングした場合との応力作用の違いについて調べてみる。第7図は、a-Si応力付与膜の作用を調べるために、0.7mm厚の石英ガラス板25上にa-Si膜22を形成したサンプルの応力分布を示した図である。応力分布は光弾性効果を利用した測定と有限要素法による応力解析から導いたものである。第7図(a)は、厚さ2.5μm、幅100μmの一樣膜を形成した場合を示し、第7図(b)は、厚さ5

μm、幅100μmの一樣膜をアルゴン(Ar)レーザービームにより10μmピッチで5μmにわたり断面に垂直にトリミングした場合を示す。21は引張り応力の発生領域を示し、22は圧縮応力の発生領域を示している。このような応力分布は、マグネトロンスパッタ法によって形成されたa-Si膜中の強い圧縮残留応力によって生じ、応力の及ぶ深さは応力付与膜の幅程度であることが知られている。第7図(a)では応力は膜22の幅程度の深部に及び、このことを裏付けている。第7図(b)では応力はa-Si膜22と石英ガラス基板25との境界付近に限定され、その深さは5μm程度である。これは、第7図(b)のレーザービームが照射されたa-Si部分23の応力がほとんど無くなり、応力をもつ部分、つまりトリミング未処理部分、が5μm程度の細い綫状となっていることを示している。

この結果から、レーザービーム等によってa-Si膜22をトリミングし、上記程度の細い綫状にした場合、応力付与膜の下部20μmの位置にあるコアにはトリミング方向に垂直な面内方向の応力がほとんど及ばないが、綫方向には十分な長さが存在しているため、応力は表面付近に留まらずコア付近にも及ぶと結論できる。もちろん、第7図(a)の様に十分な幅および長さがある場合は、綫方向と垂直な断面内方向および綫方向の応力がコア部に作用する。ここで、綫方向の応力は第7図(a)、(b)共に同じであることを付記しておく。

次に、トリミングが伝搬光に及ぼす効果について説明する。物質に応力を加えたり、加わっていた応力を変えた場合、光弾性効果に従って屈折率に変化する。これを実際に第5図および第6図の光導波路上の応力付与用a-Si膜をトリミングする場合で考えてみる。光伝搬方向に垂直な面内方向の応力(第5図および第6図では主に基板および応力付与膜から基板に平行な応力が加わる)によって複屈折値 $B (=n_{yx} - n_{yz})$ が変化し、また光伝搬方向の応力によって屈折率 n_{yx}, n_{yz} の絶対値が等しく変わり、光路長が変化することから、第5図の様に幅の広い一樣なa-Si膜24aを光伝搬方向に垂直にトリミングすることによって複屈折値 B と

光路長が同時に変わり、また第6図の様に光伝搬方向と平行に綫状にトリミングされたa-Si膜24aを光伝搬方向と垂直にトリミングすることによって光路長だけが変わる。

上記の作用の効果は、第5図および第6図におけるマッハ・ツェンダ光干渉計の対称性が導波路8a上のa-Si膜24aをトリミングすることによって崩れることで確かめられ、それは入射ポート3bから光が入射した場合に方向性結合器2bにおける導波路8aと8bを伝搬してきた光の位相差 $\Delta\phi$ として現れる。入射ポート3bから入射した光が出射ポート4a, 4bから出力されるとききの光のパワーを P_{out2}, P_{out1} とすると、位相差 $\Delta\phi$ は

$$\Delta\phi = 2\cos^{-1} \left(P_{out1} / (P_{out1} + P_{out2}) \right)^{1/2} \quad (2)$$

と表される。

第8図は、第5図において、2個の厚さ7μm、幅200μm、長さ10mmの一樣な応力付与用a-Si膜24a, 24bのうち導波路8a上の膜24aを光伝搬方向と垂直に綫状にトリミングした場合のトリミング長しと出射光 P_{out1} と P_{out2} から算出した

方向性結合器2bにおける導波路6aと6b内を伝搬してきた光の位相差、つまりトリミングにより生じた位相変化量、を示した図である。トリミングした網の形状は前記の値と等しく、ピッチ $10\mu\text{m}$ 、トリミング処理部分の幅＝トリミング未処理部分の幅＝ $5\mu\text{m}$ とした。第5図の場合、トリミング長 l に対応した光路長が変わるのに加え、トリミングした部分の光伝搬方向に垂直な面内方向の応力が無くなり、その分複屈折値が変化し、第8図にモード依存性が見られる。

第9図は、第6図において2個の厚さ $7\mu\text{m}$ 、幅 $200\mu\text{m}$ 、長さ 10mm の一樣な応力付与用a-Si膜24a,24bを光伝搬方向と平行に網状にトリミングした後、導波路6a上のa-Si膜24aだけを光伝搬方向と垂直にトリミングした場合のトリミング長 l と出力光 P_{out} と P_{out} から算出した方向性結合器2bにおける導波路6aと6b内を伝搬してきた光の位相差、つまりトリミングによって生じた位相変化量、を示した図である。ここで、トリミングした網の形状は第8図の場合と同じである。第9図

は、光路長の変化によって生ずる位相変化量を示しており、第8図の様な偏光による違いは殆ど生じない。

前述の様に、第5図および第6図は、光伝搬方向にかかる応力はほぼ等しいため、第8図は、第9図の位相変化量、つまり光伝搬方向にかかる応力の変化によって生ずる位相変化量、を含んでおり、この分を差し引いた量が光伝搬方向に垂直な面内方向の応力の変化によって生じた位相変化量である。

第3図の様に、光伝搬方向に対して $0-90^\circ$ の間の角度で網状にトリミングした場合は、トリミング長に対する位相変化が第8図と第9図の中間の傾斜をもつことになる。したがって、トリミングの角度を適切に選択することで、所望の位相変化量を得ることができる。

以上、本発明で重要な役割を担う応力付与膜とこの応力付与膜を網状にトリミングしたことによって得られる効果について説明したが、次にこの網状にトリミングする方法を用いて、如何に複

屈折値と光路長を同時に調節するかを説明する。

このレーザ・トリミングは、第1図において、例えば入射ポート3bにモニター光を入射し、集積光デバイス（ここではマッハ・ツェンダ光干渉計回路）の光特性を監視しつつ、いわゆるオンラインモニター手法で実行できるので、光導波路や応力付与膜の作製誤差によらず、正確な調節ができることが特徴である。

第1図～第4図示のマッハ・ツェンダ光干渉計の偏波依存性（第16図の光の偏光方向による光周波数のずれ）を解消する2つの方法について説明する。

第1図は、あらかじめ光路長調節用領域を作っておく方法であり、まず応力付与用a-Si膜21bの一部を光伝搬方向と平行な網状にトリミングし光路長調節用領域を作った後、一樣な膜22aの一部21cを光伝搬方向と垂直にトリミングすることにより偏波依存性を解消し、その後あらかじめ作っておいた光路長調節用領域を光伝搬方向と垂直に

トリミングし(22c)、導波路1aと1bの光路長差 Δl を調節することで光周波数を所望の値に合わせる。この場合、光路長調節トリミングと偏波依存性解消トリミングの順序を逆にしても実行できるが、偏波依存性解消トリミングでは光路長も変化してしまうため、偏波依存性解消トリミングを先に行う方法が極めて実用的である。また、偏波依存性解消トリミングを行う場合、光路長のずれをヒータ21の熱光学効果によって調節しながら実行することが、光線の波長が不可変なとき、または可変範囲が不足のときなどに有効であることも付記しておく。

第3図は、応力付与用a-Si膜21aの一部を光伝搬方向に対しある角度をもって網状にトリミングすることにより、光路長と複屈折値を同時に調節する方法であり、所望の光路長と複屈折値の変化量の比はこの角度を調節することによって得ることができる。この方法は、第1図の方法の様に前もって光路長調節用領域を作る必要もなく、且つ、一回のトリミングで実行できるのでトリミン

グ時間の短縮が可能である。ただし、これは、前もってトリミングによって変化させる複屈折値と光路長の量および応力付与用a-Si膜のトリミング量に対する位相変化量（例えば第8図、第9図に示す）、もしくは複屈折値と光路長の変化量が正確にわかっている場合に適用できる方法である。

上記の各量が正確ではないがおおかたわかっている場合や、同一サンプルで数量が多く、上記の量に各サンプルで個体差はあるがほぼ近い値をとっている場合などでは、第1図と第3図の方法を組み合わせて行うことが有効である。具体的には、第3図の方法で複屈折値と光路長を同時におおかた調節しておき、最後の微調節だけを第1図の方法で行う。これによってトリミング時間は第1図の方法よりも短縮できる。

実施例2

第10図および第11図は、それぞれ本発明の第2実施例としてモード・スプリッタの作製方法を示

めには光路長調節および複屈折値制御を行う必要がある。

第10図は、第1図の方法と同様に、応力付与用a-Si膜24bの一部を光伝搬方向と平行に縞状にトリミングし、あらかじめ光路長調節用領域を作製した後に、入射ポート3bから入射させた光Pinの出力ポート4a, 4bからの出力光Pout1, Pout2の偏光成分比を調節しながら、まず一様な応力付与膜24aの一部24cを光伝搬方向と垂直にトリミングし複屈折値の制御を行った後、光路長制御用領域を光伝搬方向と垂直にトリミングし(24e)、所望の光路長差を得るという方法である。トリミング縞の寸法はピッチ10 μm 、トリミング幅5 μm 程度である。ここでの複屈折値制御を行う工程では、複屈折値制御途中の各状態にそれぞれ最適な光路長差（そのトリミング状態で所望のモード・スプリッタ動作に最も近づく光路長差）が存在し、常にその光路長差を実現させながら制御を行う必要がある。そのためには、トリミングによって光路長制御と複屈折値制御を同時に行う

した平面図である。本例は結合率50%の方向性結合器2a, 2b間の導波路4a, 4bの長さが等しい($\Delta L=0$) マッハ・ツェンダ光干渉計回路の方向性結合器2a, 2b間の導波路上に装荷されたa-Si膜の一部を縞状にトリミングすることによって集積光デバイスを作製する方法を示している。ここで、導波路断面構造、a-Si膜の形状、そしてトリミング縞の形状は第1図～第4図と同じである。

モード・スプリッタは、例えば第10図、第11図において入力ポート3bから入射した入力光PinのうちTEモード成分を出力ポート4aから、TMモード成分を出力ポート4bから、または、その逆にTEモードを出力ポート4bから、TMモードを出力ポート4aから出力する、つまり導波モードを分離する機能を有した光回路素子である。この機能を実現するためには、方向性結合器2bにおいて導波路4aと4bを伝搬した光の位相差がTEモード（またはTMモード）で $\pi/2$ の奇数倍、TMモード（またはTEモード）で π の整数倍である必要があり、そのた

か、ヒータ21による熱光学効果を用いて光路長差を与える方法があるが、トリミングの煩雑さを防ぐ意味では後者が実用的な方法と思われる。

第11図は、第3図と同様に、応力付与用a-Si膜24aの一部24fを光伝搬方向に対しある角度をもって縞状にトリミングすることにより、光路長と複屈折値とを同時に調節する方法である。所望の光路長と複屈折値の変化量の比はこの角度を調節することによって得ることができる。この方法は、第10図の方法の様に前もって光路長調節用領域を作る必要もなく、且つ、一回のトリミングだけで実行できるのでトリミング時間の短縮が可能である。ただし、これは、前もってトリミングによって変化させる複屈折値と光路長の量および応力付与用a-Si膜のトリミング量に対する位相変化量（例えば第8図、第9図に示す）もしくは複屈折値と光路長の変化量が正確にわかっている場合に適用できる方法である。

上記の各量が正確ではないがほぼわかっている場合や、同一サンプルで数量が多く、上記の量に

各サンプルで個体差はあるがほぼ近い値をとっている場合などでは、第10図と第11図の方法を組み合わせるのが有効である。具体的には、第11図の方法で複屈折値と光路長を同時におおかた調節しておき、最後の微調節だけを第10図の方法で行う。これによってトリミング時間は第10図の方法よりも短縮できる。

以上の実施例では、トリミング未処理部分の線の幅をコア深さよりも小さくし、線の方に垂直な断面内の応力がコア付近へ及ばないようにしていたが、トリミング未処理部分の幅を広くし、且つ、その幅を微妙に変えることにより断面内方向のコア付近へ及ぶ応力を微調節でき、微妙な複屈折値制御が可能となる。

また、上記実施例では、トリミングする応力付与膜が直線状の光導波路上に設置されていたが、場合によっては、曲線状光導波路上に設置することもある。このような場合でも、導波路とトリミング線との角度が常に所定の角度をなすようにす

質膜の方が、結晶質膜よりも通しているが、これは、非晶質膜では、結晶転移などが発生しにくく、応力が緩和されることなく長期にわたって安定に維持されるためである。

また、上記実施例では、単一モード光導波路として、シリコン基板上の石英系単一モード光導波路を組んだが、本発明はこれに限定されるものではなく、クラッド層にコア部が埋設されている単一モード光導波路があれば、他材料系の光導波路であっても本発明を適用することができる。なお、多成分ガラス基板上に金属イオン拡散させたイオン拡散光導波路の場合には、コア部が基板表面近傍にあり、応力付与膜との距離が十分とれないという事情がある。このような場合には、応力付与膜形成に先立ち、コア部が作製された基板表面に例えば5μm厚程度のSiO₂膜を蒸着し、その上に応力付与膜を形成し、コア部の埋め込みの深さを等価的に大きくし、トリミング線の幅をコア部埋め込み深さよりも小さく設定することが可能となる。

ることによって、同様の効果を得ることが出来る。したがって、トリミング線が曲線となることもありうる。

更に、以上の実施例では、トリミング線と導波路との角度は常に一定の角度をなしていたが、連続的に、または、非連続的にその角度を変えても同様の効果を得ることができる。

また、上記実施例では、応力付与膜のトリミング手段として、連続発振アルゴン(Ar)レーザを用いていたが、Q-スイッチYAGレーザを用いてもよい。後者の場合には、レーザ光の照射領域の α -Si₃N₄膜は、多結晶状態に変化するのではなく、気化してしまう現象が見られた。気化により消失すれば、その領域の応力作用も選択的に消失するので、Q-スイッチYAGレーザをトリミングの手段として有効に利用できるのである。

更に、以上の実施例で応力付与膜の材質として α -Si₃N₄を選定したが、本発明はこれに限定されるものではなく、他の材料、例えば、非晶質金属膜(Co-Zr膜等)を利用することもできる。非結晶

以上の実施例では、集積光デバイスの一例としてマッハ・ツェンダ光干渉計回路をとりあげて説明したが、本発明はこの光干渉計回路に限定されるものではなく、他の集積光デバイス回路、例えば、光リング共振回路、ファブリペロ共振回路、導波路形波長板等の、光路長制御および偏波制御が必要な単一モード集積光デバイスの広い範囲にわたって適用できることは言うまでもない。

〔発明の効果〕

以上説明したように、本発明によれば、光導波路上部のクラッド層上に装荷した応力付与膜を線状に、且つ、光伝搬方向と適切な角度でトリミングすることによって、複屈折値および光路長を同時に制御することができる。トリミングは、集積光デバイスに入力したモニタ光の出力を観測しながら実行できるので、光導波路作製上の作製誤差によらずにデバイスに所望の特性を付与することができる。複屈折値や光路長の正確な設定は、コヒーレント光通信用集積光デバイスや光交換シス

テム用光デバイス等の実現に大きな役割を果たすことが期待される。

4. 図面の簡単な説明

第1図および第2図は、それぞれ、本発明集積光デバイス製造方法の第1実施例として光干渉計の回路構成およびその作製方法を示す平面図およびそのAA'線に沿った断面図。

第3図および第4図はそれぞれ光干渉計の他の回路構成およびその作製方法を示す平面図およびそのBB'線に沿った断面図。

第5図および第6図は、本発明で用いるトリミングの効果を調べるための実験方法を説明する図。

第7図(a)および(b)は、本発明で用いるトリミングの効果を示す応力分布垂直断面図。

第8図は、第5図の実験から求めたa-Si膜のトリミング長に対する位相変化量を示す図。

第9図は、第6図の実験から求めたa-Si膜のトリミング長に対する位相変化量を示す図。

第10図および第11図は、本発明集積光デバイス製造方法の第2実施例としてモード・スプリッタの回路構成とその作製方法を示した図。

第12図および第13図は、従来の集積光デバイスとしての光干渉計回路の、それぞれ、平面図およびそのAA'線に沿った断面図。

第14図は、第12図の光干渉計回路のデバイス特性を説明する図。

第15図は、第12図の光干渉計回路の偏波特性を説明する図である。

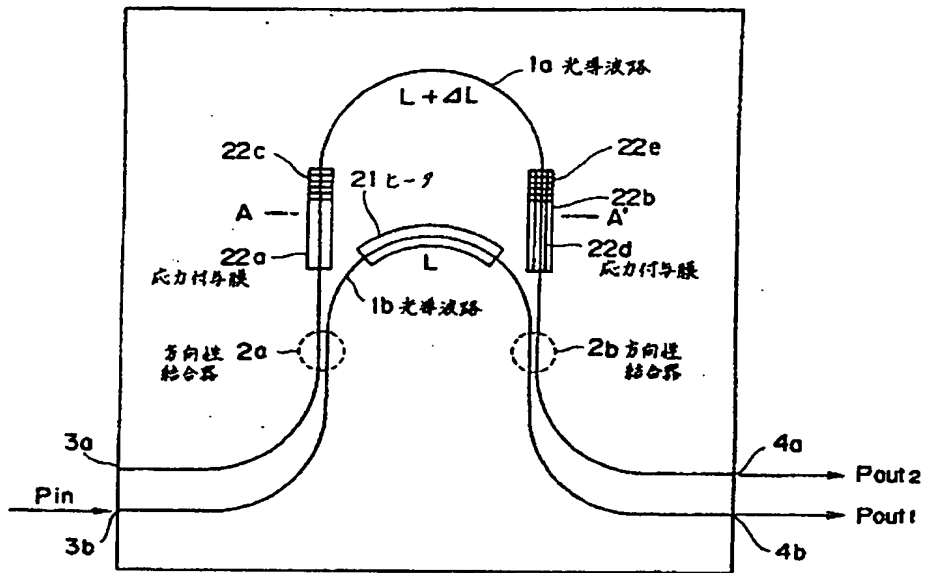
- 1…シリコン基板、
- 1a, 1b, 8a, 8b…光導波路(コア部)、
- 2a, 2b…方向性結合部、
- 3a, 3b…入射ポート、
- 4a, 4b…出射ポート、
- 5…クラッド層、
- 21…ヒータ、
- 22, 22a, 22b, 24a, 24b…応力付与用a-Si膜、
- 23…応力付与用a-Si膜レーザ・トリミング処理

部分、

- 25…石英ガラス基板、
- 26…引張り応力発生領域、
- 27…圧縮応力発生領域。

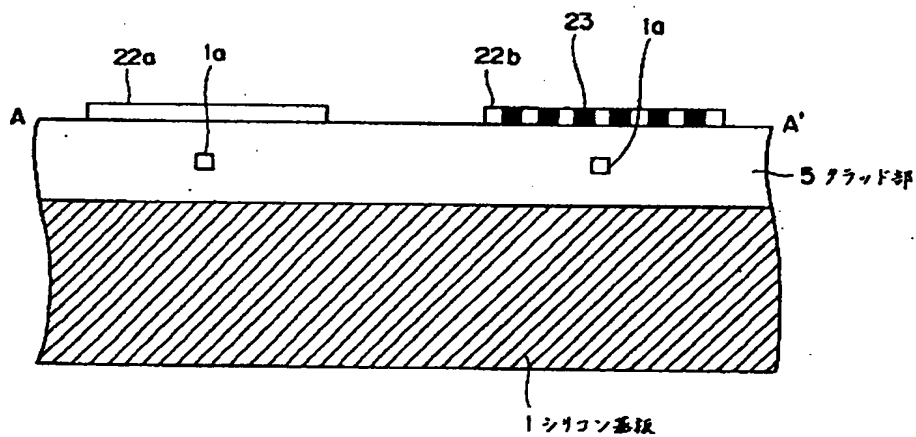
特許出願人 日本電信電話株式会社

代理人 弁理士 谷 義 一



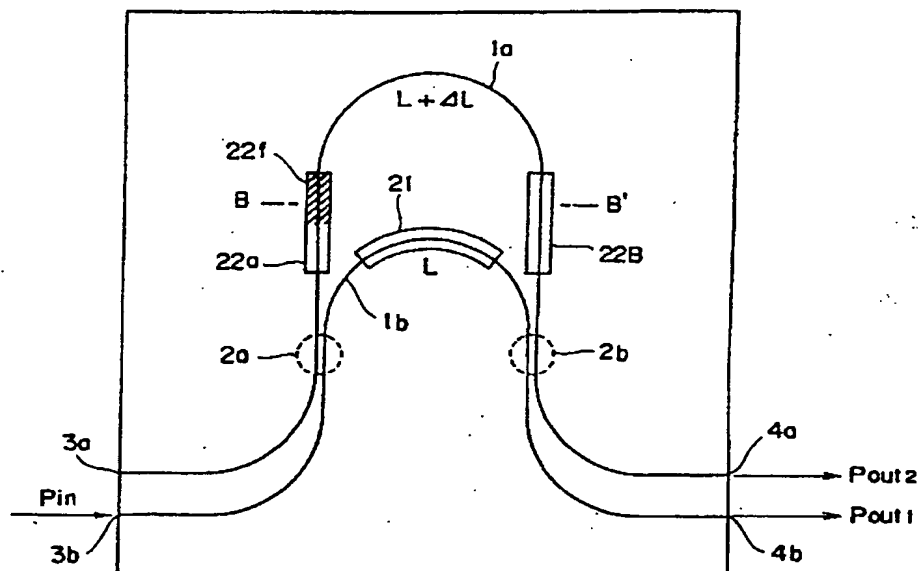
本発明の一実施例の平面図

第 1 図

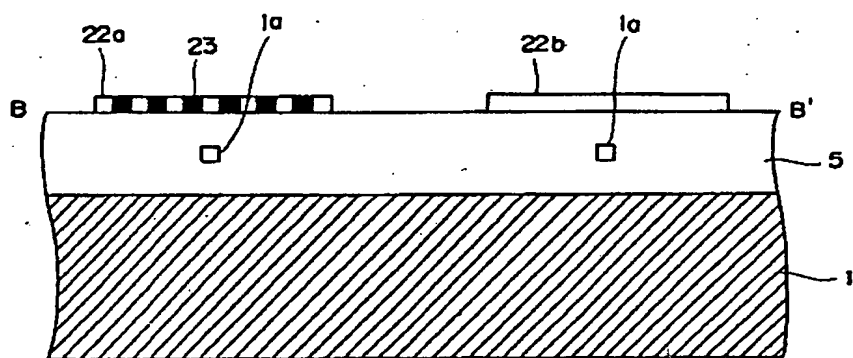


第1図のA-A'線に沿った断面図

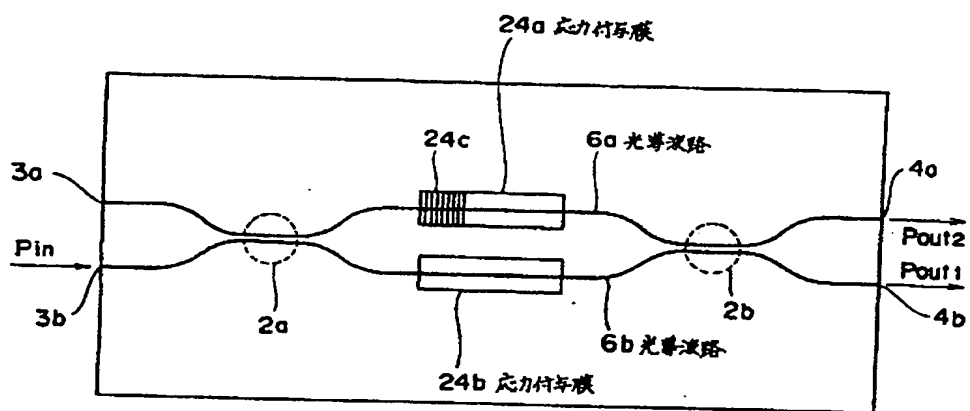
第 2 図



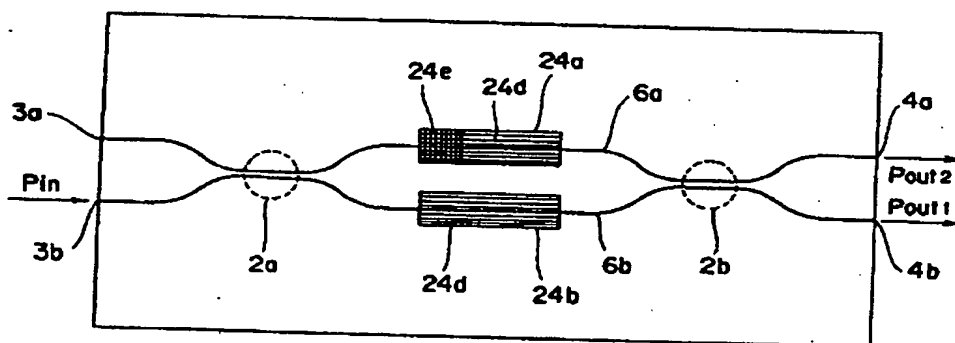
本発明の他の実施例の平面図
第 3 図



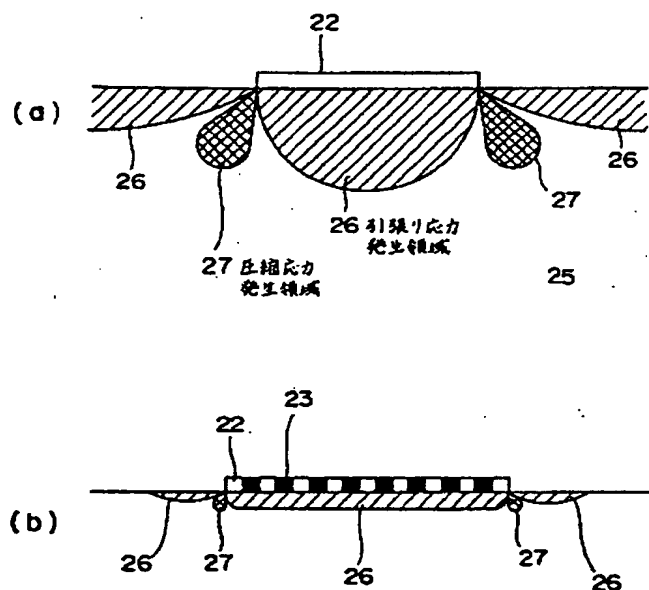
第3図のB-B'線に沿った断面図
第 4 図



本発明によるトリミング効果を調べるための実験を説明する図
第 5 図

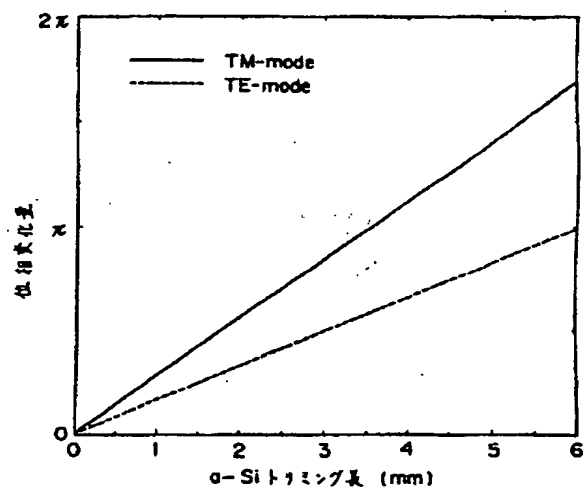


本発明によるトリミング効果を調べるための実験を説明する図
第 6 図



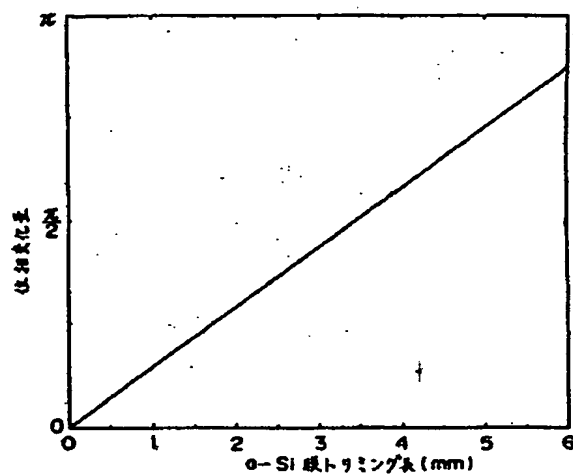
25 石英ガラス基板

本発明によるトリミング効果を示す応力分布図
第 7 図



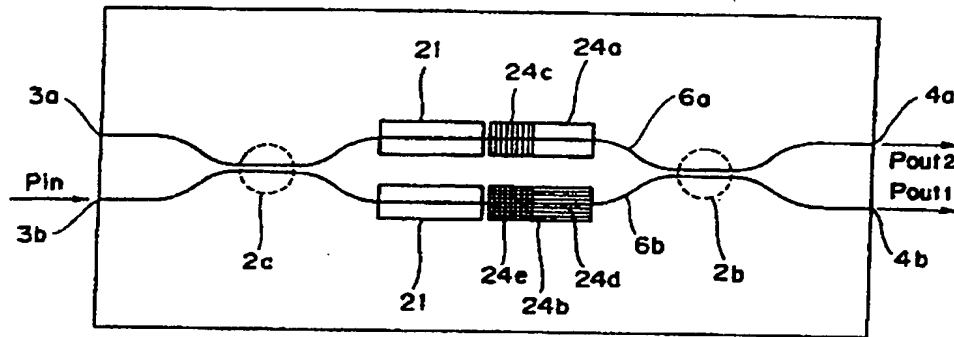
第5図の実験から求めたα-Si膜のトリミング
長に対する位相変化量を示す図

第 8 図

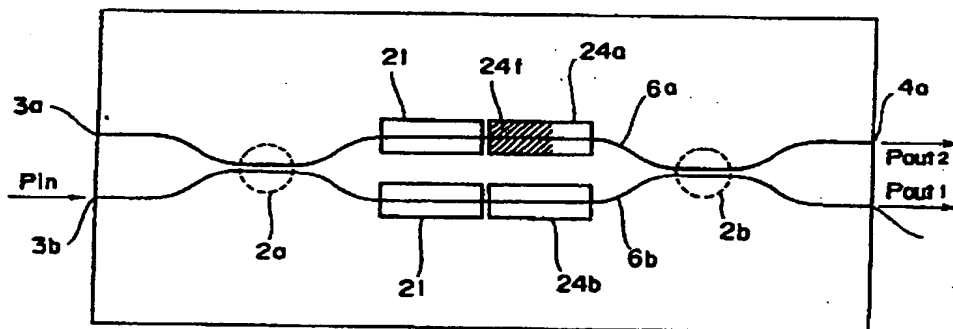


第6図の実験から求めたα-Si膜のトリミング
長に対する位相変化量を示す図

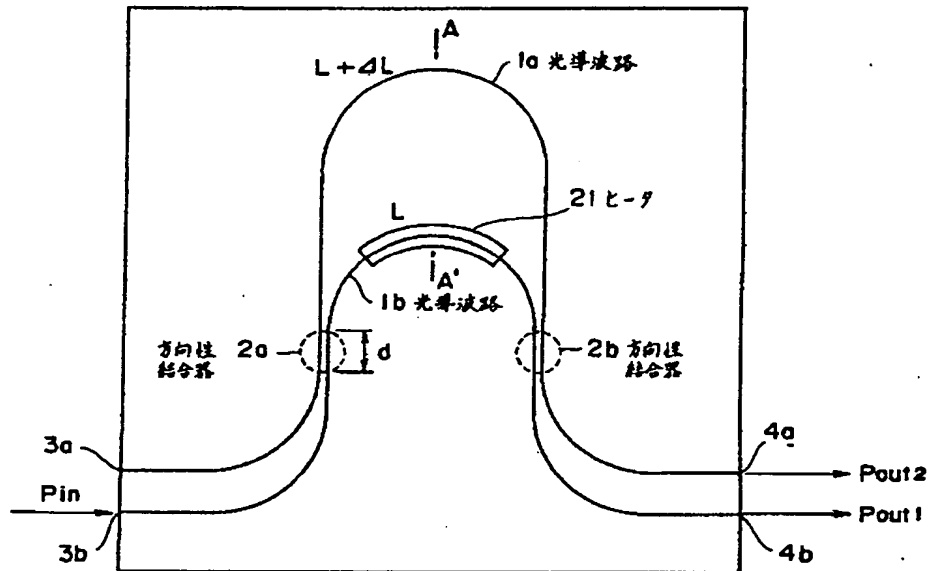
第 9 図



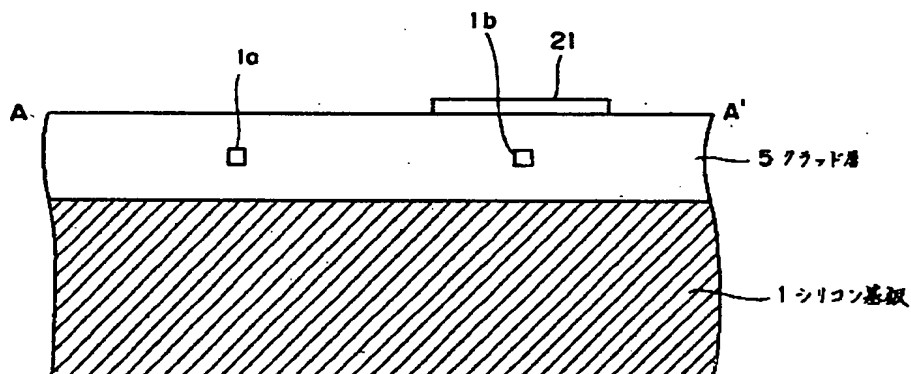
本発明の他の実施例の平面図
第 10 図



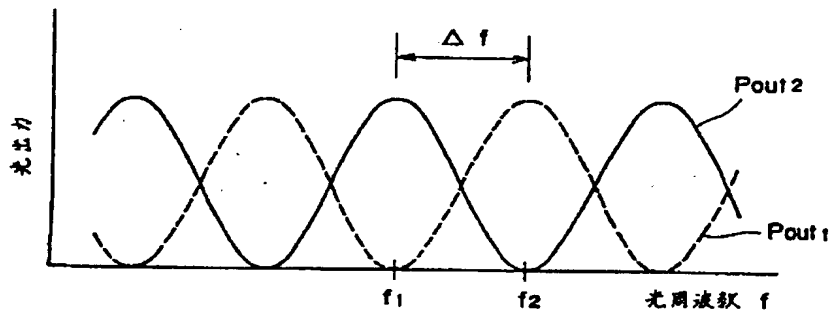
本発明の他の実施例の平面図
第 11 図



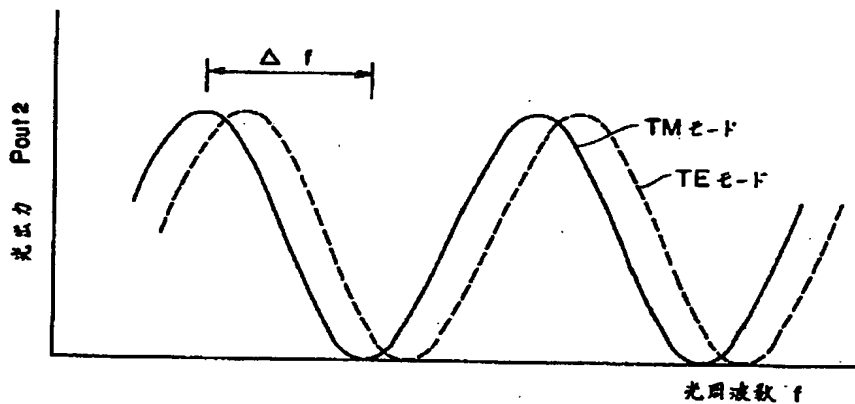
従来の光干渉計回路の平面図
第 12 図



従来の光干渉計回路の断面図
第 13 図



従来例の特性を説明する線図
第 14 図



従来例 偏波特性を説明する線図
第 15 図